

Pavel ŠMÍRA<sup>1</sup>, Jan ŠTĚPÁNEK<sup>2</sup>

TERMOSANACE A JEJÍ PRAKTICKÉ VYUŽITÍ NA PŘÍKLADĚ HORNÍHO KOSTELA  
VE VELKÉ LHOTĚ U DAČIC

THERMAL TREATMENT AND ITS PRACTICAL UTILIZATION USING THE CHURCH  
„HORNÍ KOSTEL“ IN VELKÁ LHOTA NEAR DAČICE AS AN EXAMPLE

**Abstrakt**

Metoda termosanace spočívá v nahřátí dřevěných konstrukcí napadených dřevokazným hmyzem. Při dosažení teploty 55 °C dochází k likvidaci dřevokazného hmyzu ve všech jeho stádiích – vajíčko, larva, kukla, brouk. Dochází ke koagulaci bílkovin, kterými je tvořen dřevokazný hmyz, a aby byla tato podmínka 100% splněna, musí se napadené dřevěné prvky zahřívat po dobu minimálně jedné hodiny v celém jejich průřezu.

**Klíčová slova**

Horkovzdušná sterilizace, termosanace, likvidace dřevokazného hmyzu, koagulace bílkovin.

**Abstract**

The thermal sanitation method consists in warming of wooden structures infested with wood borers. When the temperature reaches 55°C, wood borers at all stages are liquidated - egg, larva, chrysalis, beetle. Proteins, which make up the wood borers, coagulate and in order to meet this condition 100%, the infested wooden elements have to be warmed up for at least one hour throughout the it whole cross-section.

**Keywords**

Hot-air sterilization, thermal sanitation, liquidation of wood borers, coagulation of proteins.

## 1 HORKOVZDUŠNÁ SANACE – TERMOSANACE – ÚČINNÁ METODA K OCHRANĚ DŘEVOKAZNÝM HMYZEM NAPADNUTÝCH DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

### 1.1 Úvod

Metoda termosanace, jak již sám název napovídá, spočívá zjednodušeně v nahřátí dřevěných konstrukcí napadených dřevokazným hmyzem, čímž při splnění přesně daných podmínek dojde k jejich úhynu. Těmito podmínkami je myšleno především dosažení teploty 55 °C, při níž dochází k likvidaci dřevokazného hmyzu a to ve všech jeho stádiích – vajíčko, larva, kukla, brouk. Teplota 55 °C je hraniční teplota pro koagulaci bílkovin, kterými je tvořen dřevokazný hmyz, jako je například tesářík krovový (*Hylotrupes bajulus*), červotoč proužkovaný (*Anobium punctatum*), červotoč kostkovaný (*Xestobium rufovillosum*), hrbohlav hnědý (*Lyctus brunneus*). Aby byla tato podmínka 100% splněna, musí se napadnuté dřevěné prvky zahřát na požadovanou teplotu minimálně 55 °C po dobu minimálně jedné hodiny v celém svém konstrukčním průřezu. Této teploty v sanované

<sup>1</sup> Ing. Jan Šmíra, Thermo Sanace s.r.o., Chamrádova 475/23, 718 00 Ostrava – Kunčičky, (+ 420) 602 714 382 / (+420) 596 237 251 info@thermosanace.eu, www.thermosanace.eu.

<sup>2</sup> Ing. Jan Štěpánek, Thermo Sanace s.r.o., Chamrádova 475/23, 718 00 Ostrava – Kunčičky, (+420) 596 237 251, info@thermosanace.eu, www.thermosanace.eu.

konstrukci (např. krov, trámové stropy, aj.) se dosahuje regulovaným vháněním horkého vzduchu o teplotě maximálně 120 °C po dobu několika hodin [1].

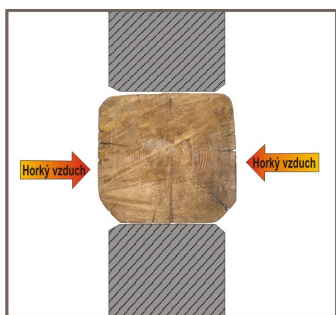
Ačkoliv je horkovzdušná sterilizace (termosanace) v České republice naprostou novinkou, v Německu je tato metoda známa[2] a úspěšně využívána již od roku 1930.

## 1.2 Rozsah použití

Likvidace dřevokazného hmyzu termosanací má smysl pouze při aktivním napadení hmyzem. Důkazem aktivního napadení je nález živých larev či brouků, akustické zvuky hmyzu, čerstvé piliny nebo výletové otvory se světlými okraji. Pokud tyto projevy chybí, nemusí ještě znamenat, že dřevo není napadeno.

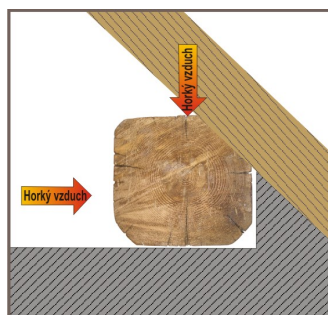
Metoda má velký význam především u památkově chráněných dřevěných konstrukcí, krovů [1] či dřevěných stropů, jelikož při ní není žádným destruktivním způsobem zasahováno do sanované konstrukce. Jediným předpokladem metody je skutečnost, že horký vzduch musí působit alespoň na dvě strany ošetřovaného dřeva (obr. 1 a 2), čímž je zaručeno dosažení teplot uprostřed profilu zahříváné trámové konstrukce a možnost proudění horkého vzduchu. Metoda je velkým přínosem především po stránce ekonomické, jelikož i při velkém rozsahu napadení a včasném zásahu termosanací se nemusí vyměňovat nebo nahrazovat poškozené prvky za novou konstrukci.

Je nutno podotknout, že termosanace v daný moment zaručí 100% úhyn dřevokazného hmyzu, nikoliv však jeho opětovné napadení. Z tohoto důvodu musí být po termosanaci zajištěna ochrana preventivním nátěrem dřeva proti napadení některými z biologických dřevokazných škůdců [1].



Zahřívání ze dvou stran, varianta I:

Obr. 1: Požadované teploty lze dosáhnout při dostatečně dlouhém zahřívání



Zahřívání ze dvou stran, varianta II:

Obr. 2: Bod měření se nachází na chladné straně v rohu (např. pozednice)

## 1.3 Technické provedení

Technické provedení likvidace dřevokazného hmyzu horkým vzduchem je možno rozdělit do následujících fází [1]:

- Průzkum dřevěné konstrukce napadené dřevokazným hmyzem určené k termosanaci;
- Likvidace dřevokazného hmyzu horkým vzduchem – vlastní termosanace;
- Dodatečné chemické ošetření dřeva.

### Průzkum dřevěné konstrukce napadené dřevokazným hmyzem

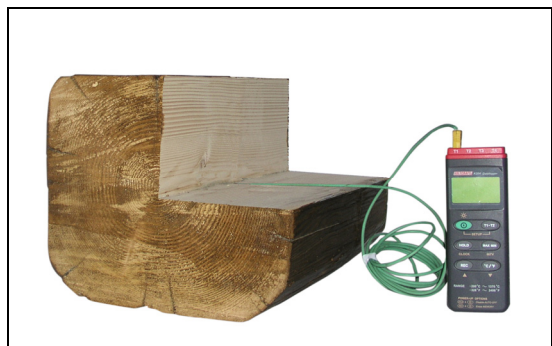
Vlastní termosanaci musí předcházet dostatečné seznámení s objektem a konstrukcí určenou k horkovzdušnému ošetření. Na základě odborného posudku příslušných znalců se provede určení rozsahu napadení. Pokud dřevo bylo již dříve chemicky ošetřeno, musí být zaručeno, že účinnost chemického prostředku nebude termosanací ovlivněna.

Důležitým faktorem je rovněž seznámení s technickými podmínkami daného objektu, jako je jeho dostupnost, rozměrové parametry a materiálová charakteristika okolních konstrukcí.

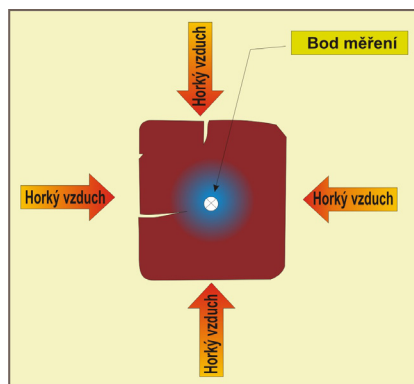
### Likvidace dřevokazného hmyzu horkým vzduchem – vlastní termosanace

Před vlastním započítím vhánění vzduchu do sanovaného prostoru je třeba provést v zájmovém prostoru důkladné odstranění veškerých materiálů a předmětů, které neodolávají vyšším teplotám a odstranění všech nečistot, prachu a úlomků dřeva. Pro zvýšení účinku horkovzdušné metody je nutno utěsnit veškeré netěsnosti (vikýře, okna, aj.) například pomocí přírodní izolace z ovčí vlny [1].

Aby byla prováděná metoda transparentní, je při jejím provádění nutno důsledně kontrolovat aktuální teplotu v prostoru sanované konstrukce i přímo jejích sanovaných prvků. Tento faktor je důležitý jednak jako důkaz, že termosanací došlo k prohřátí konstrukce na požadovanou teplotu, tedy úhynu dřevokazného hmyzu [1], a jednak z hlediska požární ochrany. K tomuto účelu jsou využívány speciálně upravené kapalinové teploměry, které se pomocí destruktivní metody zavedou do středu průřezu (trámu) a utěsní izolací z ovčí vlny, aby nedošlo ke zkreslení výsledků. Modernější a bezpečnější metodou je využití elektronických čidel pro měření teploty - termočlánky, (obr. 3). Ty mají dokonce menší průměr než klasické kapalinové teploměry a při jejich užití je možno sledovat aktuální hodnoty teploty vybraných prvků z bezpečné vzdálenosti mimo ohříváný prostor, kde dosahují teploty vzduchu 90 °C až 120 °C.



Obr. 3: Měření pomocí elektrického teploměru, ukázka v řezu



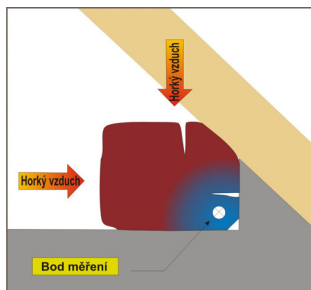
Obr. 4: Poloha bodu měření je totožná s geometrickým středem

Výběr míst pro měření se dokumentuje v tepelně nejneprůpustnějších bodech ošetřovaného dřeva. Tyto body nemusí být vždy totožné s geometrickým středem. V závislosti na poloze a počtu zahříváných vnějších ploch mohou ležet i daleko od tohoto středu (**obr. 4 a 5**). Dalšími faktory jsou poloha místa v rámci sanovaného prostoru, blízkost otvorů či nižší intenzita proudění vzduchu. Doba zahřívání dřevěných profilů závisí na jejich rozměrech, na počtu ohříváných stěn a na venkovní teplotě [3].

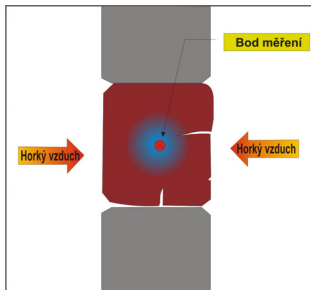
Dosažené teploty musí být protokolovány, přičemž konečné odečtení by mělo být provedeno za přítomnosti investora. Protokol o měření by měl být potvrzen osobou odpovědnou za termosanaci i investorem.

### Zahřívání ze čtyř stran:

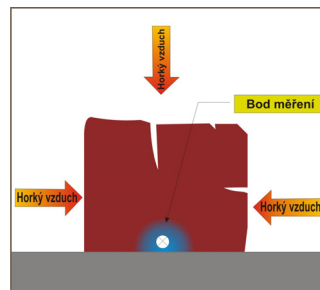
Pokud nelze profil zahřívát ze všech čtyř stran, ale pouze ze dvou nebo ze tří, odpovídají body měření obrázkům **5 až 7**.



Obr. 5: Zahřívání ze tří stran  
- bod měření se nachází  
na chladné straně  
(např. podlahový trám).



Obr. 6: Zahřívání ze dvou stran  
- poloha bodu měření je totožná  
s geometrickým středem.  
Požadované teploty lze dosáhnout  
při dostatečně dlouhém zahřívání.



Obr. 7: Zahřívání ze dvou stran  
- poloha bodu není totožná  
s geometrickým středem.  
Bod měření se nachází  
na chladné straně  
v rohu (např. pozednice).

Počet bodů měření při termosanaci musí odpovídat velikosti prostoru a jeho uspořádání. V prostorech do velikosti 200 m<sup>3</sup> je doporučeno stanovit alespoň 6 bodů měření. Pro každých dalších 200 m<sup>3</sup> je nutno přidat nejméně 2 body. Kromě toho je třeba umístit nejméně 2 termočlánky pro měření teploty vzduchu v místech s očekávanou nejvyšší teplotou mimo hlavní proud. Při zahřívání obtížně přístupných míst je třeba instalovat další termočlánky.

Z důvodu požární bezpečnosti v sanovaném prostoru je stanoven teplotní limit 120 °C, který nesmí horký vzduch na výstupu překročit. Výstupní otvor přívodního potrubí je nutno udržovat v bezpečnostní vzdálenosti od okolních konstrukcí. V případě blízkosti tepelně citlivých stavebních konstrukcí (štukové stropy, omítky, pásy asfaltové lepenky apod.) je nutno teplotu regulovat a vhnět do sanovaného prostoru teplotu jen okolo 80 °C až 90 °C. K tomuto účelu může efektivně pomoci využití termokamery, jíž se sleduje nahřívání prostor zvenčí. Nezávisle na měření teploty je nutnosti pravidelných vizuálních kontrol sanované konstrukce i přilehlých prostor zodpovědnou osobou.

U obtížně ošetřitelných objektů lze jako dodatečnou kontrolu a ujištění investora o efektivitě metody během termosanace použít vzorky s živými larvami likvidovaného hmyzu. Vzorky se umístí do kontrolních bloků, odpovídající velikosti konstrukčních prvků, nebo přímo do původního dřeva. Kontrolu úspěšného usmrcení živých vzorků provádějí nezávislé instituce [4].

Na závěr úspěšně provedené horkovzdušné sterilizace musí být celý tento proces pro investora náležitě zdokumentován. Je mu vystaven protokol o vlastní termosanaci [3], ve kterém jsou popsány jednotlivé teploty a body měření v sanovaném objektu.

#### Dodatečné chemické ošetření dřeva

Jak již bylo v úvodu řečeno, termosanací nelze dosáhnout preventivní ochrany dřeva, proto je třeba provedení preventivní chemické ochrany, například přípravkem Bochemit Plus. Pokud je termosanací ošetřováno dřevo starší než 60 let je možno zvážit nutnost chemické ochrany, protože s postupujícím stářím dřeva pravděpodobnost napadení klesá.

## **2 HORKOVZDUŠNÁ SANACE KROVU HORNÍHO KOSTELA VE VELKÉ LHOTĚ U DAČIC**

Praktické využití termosanace (horkovzdušné sanace) představíme na případě historického krovu památkově chráněného tolerančního Horního kostela ve Velké Lhotě u Dačic (obr. 8 a 9), okr. Jindřichův Hradec, který byl napaden tesaříkem krovovým (*Hylotrupes bajulus*).

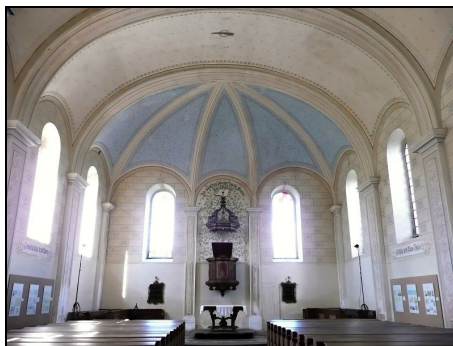
### **2.1 Zadání**

Zadáním požadavku Farního sboru ve Velké Lhotě u Dačic bylo provedení horkovzdušné sanace krovu a klenutého bedněného stropu Horního kostela ve Velké Lhotě u Dačic, okr. Jindřichův Hradec. Ten byl dle odborného posudku Ing. Jiřího Bláhy, Ph.D. a Ing. Michala Kloibera, Ph.D., ze dne 15. července 2010, napaden tesaříkem krovovým (*Hylotrupes bajulus*). Metoda termosanace byla zvolena vzhledem k památkovému charakteru objektu, nulovým mechanickým zásahům do původní

dřevěné konstrukce krovu kostela a, v porovnání s ostatními metodami, i k nižším ekonomickým nárokům.



Obr.8: Celkový pohled na objekt Horního kostela ve Velké Lhotě u Dačic



Obr.9: Interiér lodi kostela

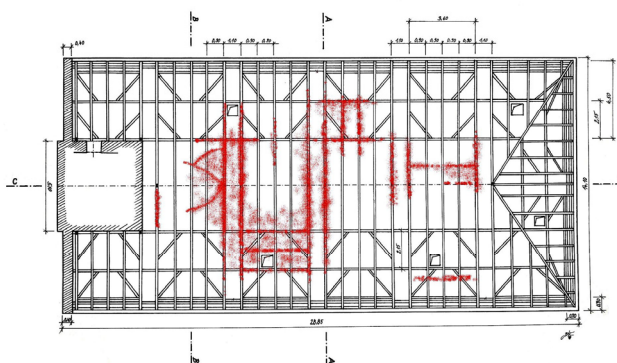
## 2.2 Seznámení se s objektem a dokumentace

Vlastní termosanaci předcházela detailní prohlídka objektu kostela a jeho okolí zaměřená na vizuální stanovení rozsahu poškození dřevěných konstrukcí dřevokazným hmyzem a určení místopisných možností přístupu termosanační techniky, na jejichž základě byl zvolen postup prací pro daný objekt.

Průzkumem zájmové konstrukce krovu kostela byla zjištěna vysoká míra napadení dřevěných konstrukcí krovu dřevokazným hmyzem (obr. 10) z čeledi *Cerambycidae*, druhu *Hylotrupes bajulus* (tesaříkem krovovým). Napadnuté byly především konstrukce ve druhé polovině přední části krovu a ve střední části zadní poloviny kostela, zvláště kleštiny, vzpěry a částečně i středové sloupy. V menší míře pak lokálně krokve a nosné části konstrukce bedněné klenby včetně bednění (obr. 12). Jako nenapadnuté se jevila většina krokví a pozednic.



Obr. 10: Ukázka míry poškození dřevěných konstrukcí krovu se zřetelnou ukázkou požerků a výletových otvorů tesaříka krovového (*Hylotrupes bajulus*).



Obr. 11: Vizuální stanovení rozsahu napadení krovu tesaříkem krovovým





Obr. 12: Dřevěná trámová konstrukce krovu a bednění klenby kostela

## 2.3 Termosanace

### Příprava

Před spuštěním vhánění horkého vzduchu musel být krov kostela důkladně vyčištěn a vysát od všech nečistot (sláma, prach, zbytky asfaltové lepenky, eternitových tašek, zbytků dřeva,...) z důvodu zamezení možnosti vznícení nečistot a zamezení víření nečistot proudem horkého vzduchu. Rovněž byla pořízena pasportizace stávajících trhlin v omítaném podhledu bedněné klenby. Pro tento případ byla později klenba sledována termokamerou a prostor krovu vyhříván nižší teplotou (cca 80 °C – 100 °C).

### Navezení a instalace horkovzdušných přístrojů a potrubí

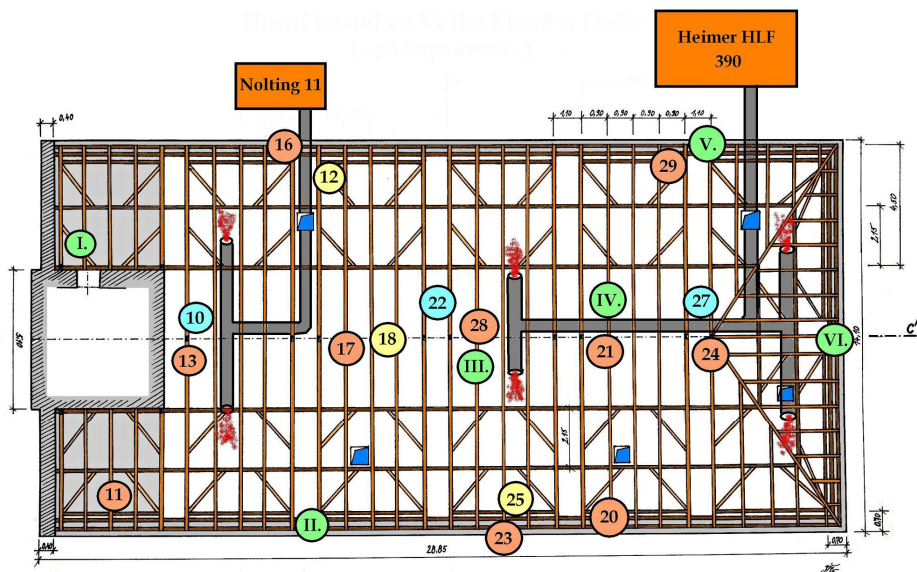
Pro tento případ napadeného krovu o objemu cca 1500 m<sup>3</sup> bylo zvoleno užití dvou horkovzdušných strojů (Nolting 11 s výkonem horkého vzduchu 7 500 m<sup>3</sup> /h a Heimer HLF 390 o výkonu 22 500 m<sup>3</sup> /h), které byly instalovány při západní straně lodi kostela (obr. 13).



Obr. 13: Pohled z věže kostela na prostup horkovzdušného potrubí střechou kostela a jeho následné rozvedení v interiéru krovu.

Následovalo rozmístění horkovzdušného potrubí a utěsnění velkých otvorů v krovu proti úniku horkého vzduchu (světliky, výstup do interiéru věže,...).

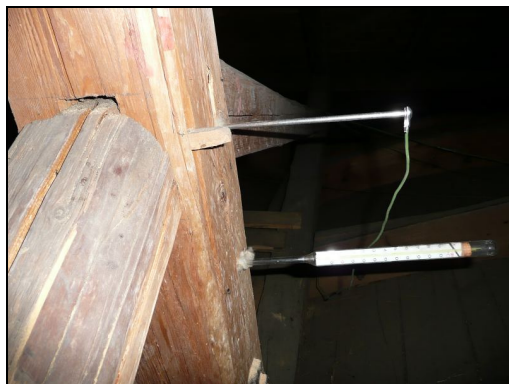
Souběžně s rozmístěním potrubí probíhala instalace elektronických teplotních termočlánků na místa s předpokladem nejrychlejšího a nejpomalejšího ohřevu. Jako kontrolní metody k moderní elektronické metodě bylo užito i 6 ks klasických kapalinových teploměrů (obr. 14 a 15).



Obr. 14: Schéma rozmístění horkovzdušného potrubí a umístění jednotlivých měřících sond (kapalinové teploměry a elektronické termočlánky): **zeleně** – kapalinové teploměry umístěné v trémových konstrukcích, **modře** – el. termočlánky měřící aktuální teplotu vzduchu v krovu, **žlutě** – el. termočlánky měřící aktuální teplotu v bednění klenby (v hloubce max. 1,5 cm), **hnědě** – el. termočlánky měřící aktuální teplotu v daných trémových konstrukcích krovu kostela (v hloubce dle průměru daného trému, od 5 cm do 13 cm).

Popis umístění jednotlivých kapalinových a elektronických teplotních termočlánků:

- (I. – VI.) kapalinové teploměry umístěné v dřevěných konstrukcích krovu;
- (10, 22, 27) elektronické termočlánky měřící teplotu vzduchu uvnitř krovu kostela;
- (12, 18, 25) elektronické termočlánky měřící teplotu bednění klenby uvnitř krovu (v hloubce 15 mm);
- (11, 13, 16, 17, 20, 21, 23, 24, 28, 29) elektronické termočlánky měřící teplotu uvnitř vybrané dřevěné konstrukce.



Obr.15: Ukázka umístění elektronického termočlánku a klasického kapalinového teploměru

### Vlastní horkovzdušná sanace krovu

Samotná horkovzdušná sanace krovu napadeného druhem *Hylotrupes bajulus* započala 17. 9. 2010 v 7:30 spuštěním obou přístrojů a elektronického on-line měření teplot s automatickým záznamem dat z termočlánků. Na počátku měření (8:00) byla změřena teplota interiéru kostela 12,9 °C, na konci měření v 0:30 (18. 9. 2010) 18,3 °C. To znamená, že během 17 h ohřívání krovu se teplota v interiéru lodi zvýšila o více než 5°C. (Tab. 1).

Tab. 1: Tabulka hodnot naměřených teplot uvnitř krovu pomocí elektronických termočlánků v °C

	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	23:30	0:00	0:30
Císto 10	12,45	58,16	68,64	66,67	72,70	66,13	67,67	66,43	67,57	74,16	71,54	76,42	80,36	85,68	83,96	87,79	85,63	86,24	87,63
Císto 22	12,16	57,35	67,55	73,85	78,20	65,38	66,56	65,62	66,34	76,66	69,94	80,21	85,12	87,80	82,59	90,93	90,79	90,63	90,87
Císto 27	11,51	56,70	71,65	78,55	81,18	60,20	60,81	60,45	61,09	78,29	64,99	77,63	82,07	84,86	80,18	95,14	93,86	94,14	92,35
Císto 25	12,51	20,14	23,83	21,80	23,44	21,09	21,06	20,94	22,85	23,28	25,16	28,03	31,00	33,65	29,86	31,68	31,78	32,19	33,06
Císto 18	12,28	31,68	41,02	43,81	48,18	45,75	45,89	46,20	47,05	50,69	50,14	55,48	41,95	40,49	39,60	39,59	39,81	40,19	41,00
Císto 12	12,55	14,98	16,85	18,20	18,44	18,27	18,42	18,65	19,35	19,68	20,57	22,15	22,80	24,84	24,44	25,08	25,00	25,93	26,02
Císto 11	12,35	13,11	16,91	23,17	27,19	29,88	31,00	31,57	31,48	31,26	32,05	33,32	36,39	47,07	53,65	54,79	55,39	55,19	55,13
Císto 13	13,81	14,07	14,57	15,67	16,96	17,73	18,91	19,54	20,42	20,79	21,74	24,32	28,69	36,96	43,03	44,39	44,88	45,18	46,73
Císto 16	13,26	13,37	13,52	13,98	14,79	15,21	17,45	18,28	19,13	19,41	20,52	22,53	24,40	37,26	45,19	47,04	48,06	48,42	49,39
Císto 17	12,83	15,26	21,85	29,68	34,80	39,63	42,99	44,39	46,51	47,56	49,33	51,25	53,48	56,77	59,56	61,19	61,64	62,31	63,02
Císto 20	12,62	13,09	14,28	16,35	18,64	20,90	23,29	24,35	25,86	26,37	27,44	28,99	33,68	45,19	53,08	55,00	55,50	55,69	55,97
Císto 21	13,18	14,12	17,04	21,85	26,10	30,41	33,43	34,85	36,79	37,81	39,89	42,01	44,69	47,22	52,97	54,96	55,32	55,71	56,06
Císto 23	13,08	13,67	16,16	20,55	24,48	27,27	29,55	30,21	31,01	31,19	32,03	33,40	39,55	46,81	54,26	54,57	55,04	56,20	56,11
Císto 24	12,57	15,02	21,92	31,83	40,03	46,47	49,46	50,27	51,46	52,06	56,36	59,15	61,71	64,67	67,29	69,49	70,36	70,96	70,98
Císto 28	12,50	18,65	28,16	36,45	42,01	44,93	46,31	47,26	48,58	48,97	52,26	54,82	58,04	61,54	64,69	64,93	65,41	66,34	66,49
Císto 29	12,76	12,80	13,29	14,46	15,32	16,29	17,57	18,11	18,68	18,71	19,20	20,13	22,66	40,07	47,15	53,49	55,76	55,95	56,14

termočidla měřící teplotu vzduchu uvnitř krovu  
 termočidla měřící teplotu bednění klenby uvnitř klenby  
 termočidla měřící teplotu uvnitř referenčních vzorků dřeva (trámové konstrukce krovu)  
 termočidla, která uvnitř dřeva dosáhla po dobu min. 1h teplotu 55 °C a vyšší

**Poznámka:**

\*] v 19:00 byly z důvodu možného přehřívání zakryty 3 středové pole klenby v pásu cca 2,5 m v jejím vrcholu pásem izolace z ovčí vlny. Toto mělo za následek pokles teploty ve vrcholu klenby o takřka 15 °C, což se projevilo především poklesem teploty v čísle č. 18.

\*\*] ve 22:00 byl proud vzduchu v zadní části krovu částečně zastaven a nasměrován k oblasti s měřicím čidlem č. 29

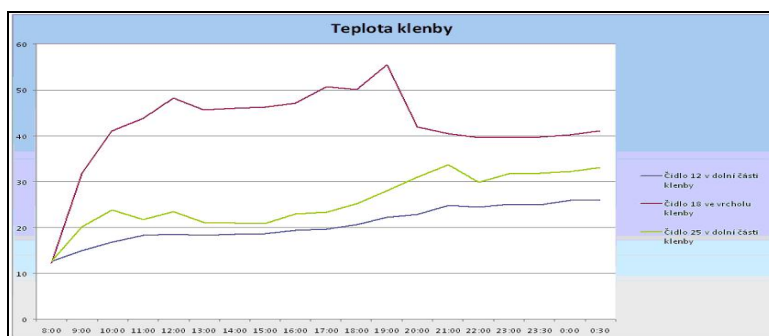
Z údajů uvedených v Tab. 1 zřetelně vyplývá, že nejrychleji se dle očekávání prohřívaly konstrukce nejvíce vystavené proudění horkému vzduchu, tj., svislé sloupky, kleštiny. Pomaleji pak dřevěné konstrukce pozednic. V jejich případě nastal rychlý vývoj v prohřívání až po 12 hodinách. Na pomalé prohřívání pozednicových trámů měl velký vliv především chlad a vlhkost navazující koruny obvodového zdiva kostela. Toto se v minulosti projevilo vlhnutím (hnílobou) spodních částí pozednicových trámů.

Na základě údajů z výše uvedené tabulky je možno prohlásit, že 8 z celkových 10 termočlánků, umístěných uvnitř dřevěných konstrukcí, dosáhlo po dobu minimálně 1h teplotu uvnitř dřeva rovnou nebo vyšší hodnotě 55 °C a tím **je možno považovat provedenou termosanaci za úspěšně splněnou**.

Jako příklad extrémně nepříznivých podmínek pro termosanaci byla vybrána zkušební dvě místa v rámci krovu: 1) termočlánek č. 13, umístěné kleštině, procházející kamennou zdí věže, která dřevo obklopuje ze tří stran, 2) termočlánek č. 16, umístěné v pozednici, která je ovlivňována vlhkostí a chladem obvodové zdi, na níž je dřevo položeno, a posílené tzv. tepelným stínem (místo za horkovzdušným potrubím) obr. 14. V obou případech nedovolily uvedené okolnosti prohřát dřevěnou konstrukci v plném průřezu na požadovanou teplotu, aniž by reálně nehrozilo riziko přehřátí blízkých dřevěných prvků. Výše uvedené dva případy dřeva byly nenapadnuté dřevokazným hmyzem, neboť ten nevyhledává permanentně chladná a navlhla místa.

Tab. 2: Tabulka hodnot naměřených teplot uvnitř dřeva pomocí kapalinových teploměrů v °C.

	9:00	10:00	12:00	13:00	14:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	23:30	0:00	0:30
Teploměr I	14,00	14,50	17,00	18,50	20,50	23,50	25,00	26,00	27,50	29,50	34,50	43,50	51,50	55,50	56,00	55,50
Teploměr II	14,50	15,00	19,50	22,00	24,00	27,00	29,00	30,00	31,50	34,00	38,50	44,50	53,50	56,00	56,50	57,00
Teploměr III	16,50	21,50	36,50	42,50	46,50	50,50	52,00	53,50	56,50	59,00	62,00	64,50	64,50	66,00	67,50	68,50
Teploměr IV	14,50	16,50	25,00	29,00	32,00	36,50	38,00	40,00	42,00	45,00	48,50	53,50	55,00	57,50	58,50	59,00
Teploměr V	14,00	15,00	19,50	21,00	23,00	25,50	27,00	28,00	30,00	33,00	38,50	45,00	52,50	54,50	55,50	57,00
teploměr VI	13,00	15,00	19,00	21,00	23,00	24,50	25,00	27,00	29,00	32,50	41,50	47,50	54,00	55,50	56,00	56,50



Graf 1: Graf vývoje měřené teploty ve °C uvnitř bednění klenby stropu kostela v hloubce cca 15 mm v závislosti na čase.

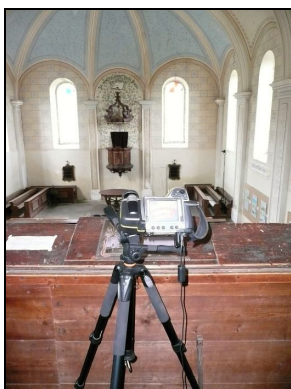


Z grafu 1 vývoje teploty uvnitř bednění klenby kostela, která musela být speciálně pro tento typ stavby sledována, vyplývá rozdíl v přehřívání vrcholu klenby (termočlánek 18 – viz obr. 14), kde je teplota vyšší z důvodu stoupání horkého vzduchu do horních částí krovu a nepůsobení negativních okolních vlivů obvodových zdí, a teplotami termočláneků umístěných ve spodních částech klenby. Zde je teplota výrazně ovlivněna, jak blízkostí chladných obvodových zdí kostela, tak zhoršenou možností cirkulace horkého vzduchu.

Na základě informací z termočlátku č. 18 o aktuální zvýšené teplotě vrcholu klenby uvnitř krovu bylo v 19:00 rozhodnuto o zakrytí hřebene klenby ve třech polích izolací z 2,5 m širokého pásu ovčí vlny. Ta snížila teplotu vrcholu klenby uvnitř krovu kostela z takřka 56 °C na 39 – 41 °C, a zamezila tak případnému poškození (přehřátí) vrcholu bedněné klenby (opadávání omítky apod.). Tento údaj byl potvrzen i termokamerou.

#### Termokamera

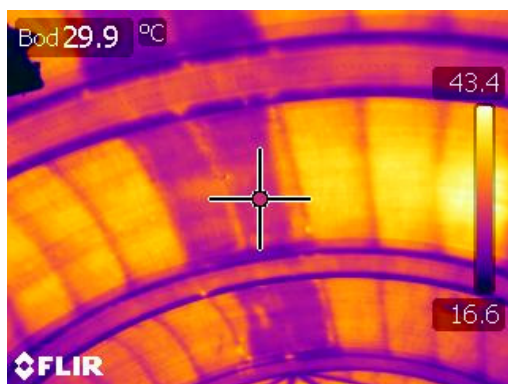
Jako doplňující metody měření tepla, teplotních změn a anomálií vnějšího okolí sanovaného prostoru bylo využito měření pomocí infračervené termografie, veřejnosti známé jako měření termokamerou. Pro měření byla použita termokamera typu FLIR B425. Tou se sledovalo především tepelné zatížení bedněného klenutí interiéru kostela z hlavní lodi a jeho reakce na zahřívání.(obr.16 – 21).



Obr.16: Termokamera FLIR B425 na stativu



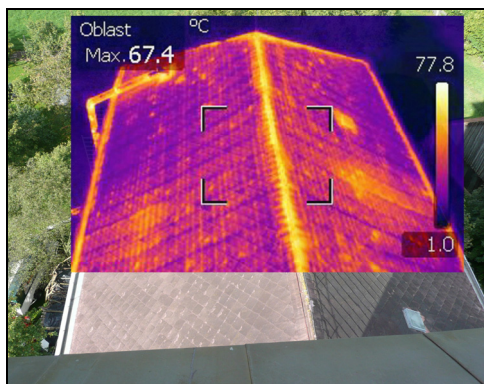
Obr.17: Detail termokamery při sledování teploty klenby



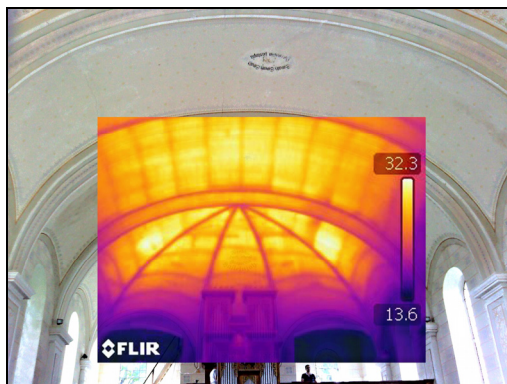
Obr.18: Ukázka využití sledování teploty pomocí termokamery. Snímek kombinuje klasický obraz s obrazem z termokamery, který zachycuje prohřívání dřevěných konstrukcí po zahájení vlnění horkého vzduchu. Nejrychleji se nahřívají hrany trámů (světlá, žlutá barva), pomaleji pak tvrdší dřevěné anomálie, např. suky (tmavě modrá, fialová).



Obr.19: Termosnímek hřebene bedněného klenutí kostela kolem 21:00 s viditelným pásem izolace z ovčí vlny, položeném v interiéru krovu na jejím prohřátém vrcholu. Nejprohřátější místa bednění mají teplotu až 43,4 °C, naopak vrchol klenby zaizolovaný vlnou pouze 29,9 °C, což představuje rozdíl v teplotě o takřka 13,5 °C.



Obr.20: Ukázka využití sledování teploty pomocí termokamery. Snímek kombinuje fotografii střechy lodi kostela z kostelní věže a snímku termokamery. Z toho je dobře vidět rozehráté horkovzdušné potrubí, které prostupuje světlíkem do krovu, a největší úniky tepla střechy především v místě hřebenu a světlíků.



Obr.21: Kombinace termovizního snímku s klasickou fotografií. Na snímku je velmi dobře patrné postupné prohřívání krovu od hřebene klenby po její napojení na obvodové zdi kostela - bílá až žlutá barva tenkých desek bednění, červená nosné konstrukce klenutí, fialová až namodralá barva chladných stěn kostela, tmavě modrá barva prochlazených oken.

## 2.4 Závěrečné práce a prevence chemickým ošetřením

Po úspěšně provedené termosanaci a vypnutí horkovzdušných agregátů provedli pracovníci zhotovitele demontáž horkovzdušného potrubí a termočlánků. Z důvodu prevence ošetřeného krovu před opětovným napadením dřevokazným hmyzem[4] byl proveden dvojnásobný nátěr dřevěných konstrukcí krovu včetně dřevěného bednění klenby kostela chemickým přípravkem Bochemit Plus – fungicidní a insekticidní přípravek na ochranu dřeva proti biologickým škůdcům. Plně zalaty a vyplněny neředěným přípravkem Bochemit byly rovněž prázdné dutiny po vytáhnutých elektronických termočláncích a kapalinových teploměrech.

## 3 ZÁVĚR

Na závěr lze oprávněně konstatovat, že metoda horkovzdušné sanace krovů napadených dřevokazným hmyzem představuje efektivní a rychlou nedestruktivní metodu, která při dodržení přesně stanovených pracovních postupů a podmínek dokáže zaručit jistotu úhynu likvidovaného dřevokazného škůdce. Článek podrobně po jednotlivých krocích představil pracovní postup úspěšné termosanace na reálném případě historicky cenného objektu Horního kostela ve Velké Lhotě u Dačic. Z uvedených naměřených výsledků je zřejmé, že horkovzdušnou metodou bylo dosaženo teplot, při nichž je deklarován úhyn všech druhů dřevokazného hmyzu ve všech jeho stádiích.

## LITERATURA

- [1] Směrnice 1-1,87 WTA vypracoval Dr. G. Grosser Mnichov, A. Weisbrodt Borgholzhausen.
- [2] DIN 68 800 část 4 – listopad 1992, Ochrana dřeva.
- [3] Směrnice 1-1 z 06 2008/D, Horkovzdušná metoda likvidace živočišných škůdců dřeva v konstrukcích.
- [4] ČSN EN 370 Ochranné prostředky na dřevo. Stanovení ničivého účinku ochranného prostředku zabráňujícímu výletu *Anobium punctatum*.

### Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ing. Ladislav Reinprecht, CSc., Dřevárská fakulta, Technická univerzita Zvolen.

Prof. Ing. Ivan Makovíny, CSc., Katedra dřevářských strojů a zařízení, Technická univerzita Zvolen.